

Roger Cadiergues

L'ÉCLAIRAGE NATUREL



(Guide RefCad nR32.a)



La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».

TABLE DES MATIÈRES DU GUIDE

<i>Contenu</i>	<i>page</i>
1. L'éclairage naturel	3
1.1. Les principes de l'éclairage naturel	3
1.2. Répartition et choix des facteurs de jour	4
1.3. Le calcul des facteurs de jour	4
1.4. Le facteur de jour brut	6
1.5. Le facteur de jour corrigé	7
1.6. Les applications du facteur de jour	7

LE CADRE DE CE GUIDE

Attention : le présent guide suppose connues les bases indiquées pour l'éclairage dans le guide :
nR27. L'éclairage artificiel

Chapitre 1

1. L'ÉCLAIRAGE NATUREL

1.1. LES PRINCIPES DE L'ÉCLAIRAGE NATUREL

LA RÔLE ÉNERGÉTIQUE DE L'ÉCLAIRAGE NATUREL

Même s'il est difficile de rationaliser les choix en la matière, le recours à l'éclairage naturel est une source classique d'économie d'énergie. Malheureusement cela ne doit pas conduire à développer trop fortement l'éclairage naturel car l'augmentant de surface vitrée peut avoir des conséquences thermiques qui peuvent être à la fois souhaitables (en hiver par augmentation des apports) et à la fois regrettables (charges d'été pouvant conduire à des températures intérieures bien trop élevées).

LES CONVENTIONS DE BASE

Tous les calculs d'éclairage naturel reposent sur les deux remarques suivantes :

1. La lumière «naturelle» ne vient *que du ciel*, c'est à dire du **rayonnement diffus** à l'exclusion du *rayonnement solaire direct*.

2. Bien que des hypothèses différentes aient pu être proposées (depuis Parry Moon) la **luminance du ciel** est supposée **identique dans toutes les directions**.

De ce fait les conditions extérieures sont simplement caractérisée par l'**éclairage horizontal** dû à ce rayonnement diffus de répartition uniforme.

Il est, depuis longtemps, habituel de caractériser l'éclairage naturel d'un local par deux critères, assez complémentaires, éliminant les fluctuations climatiques **au bénéfice de données purement géométriques**. Ces deux critères sont : le *facteur de ciel* et le *facteur de jour*.

LA DÉFINITION ET LE RÔLE DES FACTEURS DE CIEL ET DE JOUR

Au lieu d'utiliser les concepts classiques de l'éclairage artificiel (éclairage du plan utile) il faut -en éclairage naturel - utiliser des concepts plus souples, en particulier le «facteur de ciel» et le «facteur de jour». Ces concepts, indépendants des conditions extérieures, sont définis comme suit.

LE FACTEUR DE CIEL

Le **facteur de ciel** est la rapport entre :

- . l'**éclairage intérieur direct** (hors réflexions internes) **en un point du plan utile**,
- . et l'**éclairage horizontal extérieur dû à la voûte du ciel**.

Compte tenu des hypothèses ce facteur est indépendant des conditions extérieures, lié uniquement aux caractéristiques géométriques des vitrages.

LE FACTEUR DE JOUR

Le **facteur de jour** est la rapport entre :

- . l'**éclairage intérieur complet** (réflexions internes comprises) **en un point du plan utile**,
- . et l'**éclairage horizontal extérieur dû à la voûte du ciel**.

Compte tenu des hypothèses ce facteur, indépendant des conditions extérieures, est lié uniquement :

- . aux caractéristiques géométriques des vitrages,
- . et à la plus ou moins grande réflectance des parois internes du local en cause.

LE CHOIX DU CRITÈRE

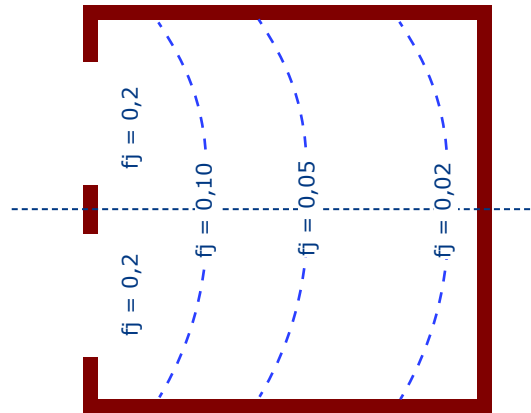
On a longtemps utilisé le facteur de ciel, bien plus simple à évaluer que le facteur de jour, mais ce dernier étant plus proche des réalités est désormais le plus souvent utilisé : c'est d'ailleurs celui que nous utiliserons par la suite, la définition en étant la suivante :

- le **facteur de jour** (ou *facteur de lumière du jour*) est le rapport entre l'éclairage intérieur en un point du plan utile (intérieur) et l'éclairage extérieur horizontal dû à la voûte du ciel.

1.2. RÉPARTITION ET CHOIX DES FACTEURS DE JOUR

PREMIÈRE DIFFICULTÉ

Le premier inconvénient du concept de facteur de jour est est que ce facteur varie selon le point de définition sur le plan utile, ainsi que le schématise l'exemple ci-dessous (f_j = facteur de jour).



LE CHOIX DES FACTEURS DE JOUR

Il n'existe pas de recommandations en matière de facteur de jour qui échappent à des critiques sérieuses. La plupart du temps la recommandation est basée (voir tableau ci-dessous pour la France métropolitaine) sur les deux conventions suivantes :

- . un éclairage minimal sur le plan utile, en un point déterminé,
- . un éclairage extérieur pris comme base, 3000 ou 5000 [lx] en général.

RECOMMANDATIONS TYPES		
tâche visuelle	éclairage [lx]	facteur de jour
circulation	50	0,01
tâche moyenne	100	0,02
tâche fine	150	0,03
tâche très fine	300	0,06

L'UTILISATION TYPE DES FACTEURS DE JOUR

La seule application ici retenue, les autres étant très conventionnelles et assez rarement appliquées, consiste à utiliser le facteur de jour pour calculer les **durées d'éclairage artificiel**. En fait l'expérience prouve :

- . qu'en cas de **commande manuelle** de l'éclairage le comportement des occupants est très imprévisible, les calculs étant alors forcément très arbitraires,
- . alors que dans le cas de **commande automatique** on peut adopter les démarches suivantes basées sur le calcul du facteur de jour.

1.3. LE CALCUL DES FACTEURS DE JOUR

LE CALCUL DU FACTEUR DE JOUR : LES PRINCIPES

Le **facteur de jour**, est une grandeur à la fois géométrique et photométrique : c'est le rapport entre l'éclairage intérieur en un point du plan utile et l'éclairage extérieur horizontal (dû à la voûte du ciel supposée de luminance uniforme). Sur le plan pratique la méthode de calcul proposée, pour un point donné du plan utile, comporte trois phases :

1. la détermination du, ou des **facteurs de jour élémentaires**, notés ici Fe1, Fe2, etc.,
2. à partir de là le calcul du **facteur de jour brut**, noté ici F0 (pour le point du plan utile étudié),
3. à partir de là le calcul du **facteur de jour corrigé** au point de référence précédent, facteur noté ici F.

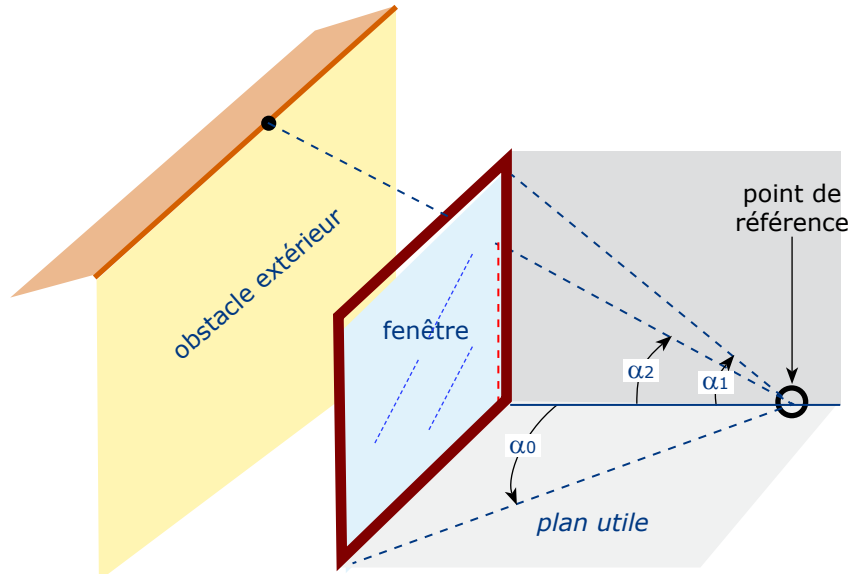
Tous ces calculs sont présentés aux pages suivantes.

LES FACTEURS DE JOUR ÉLÉMENTAIRES

Un facteur élémentaire correspond à la configuration indiquée ci-dessous. C'est une configuration très spécifique, mais qui va nous permettre d'évaluer les résultats pour des configurations beaucoup plus générales. La méthode permettant d'évaluer le facteur de jour élémentaire (voir plus loin) est relativement simple, mais comme ce sont souvent les tangentes qui sont aisément connues ce tableau permet également d'utiliser les tangentes. Notez que α_1 et α_2 représentent respectivement la hauteur angulaire de la fenêtre et la hauteur angulaire de l'obstacle extérieur ($\alpha_2 < \alpha_1$). Une fois les angles α_0 , α_1 et α_2 déterminés, vous pouvez calculer le **facteur élémentaire** F_e par la formule :

$$F_e = f(\alpha_0, \alpha_1) - f(\alpha_0, \alpha_2),$$

dans laquelle apparaissent les fonctions $f(\alpha_0, \alpha_1)$ et $f(\alpha_0, \alpha_2)$ dont les valeurs sont fournies, en fonction de α_0 et α_1 (ou α_2), par le tableau du bas de page. Dans la figure ci-dessous figurent les angles permettant de calculer les facteurs de jours élémentaires,



EXEMPLE

. $\alpha_0 = 40^\circ$, $\alpha_1 = 45^\circ$, $\alpha_2 = 20^\circ$.

D'après la table ci-dessous :

. $f(\alpha_0, \alpha_1) = f(40, 45) = 0,051$

. $f(\alpha_0, \alpha_2) = f(40, 20) = 0,011$

. $F_e = f(\alpha_0, \alpha_1) - f(\alpha_0, \alpha_2) = 0,040$

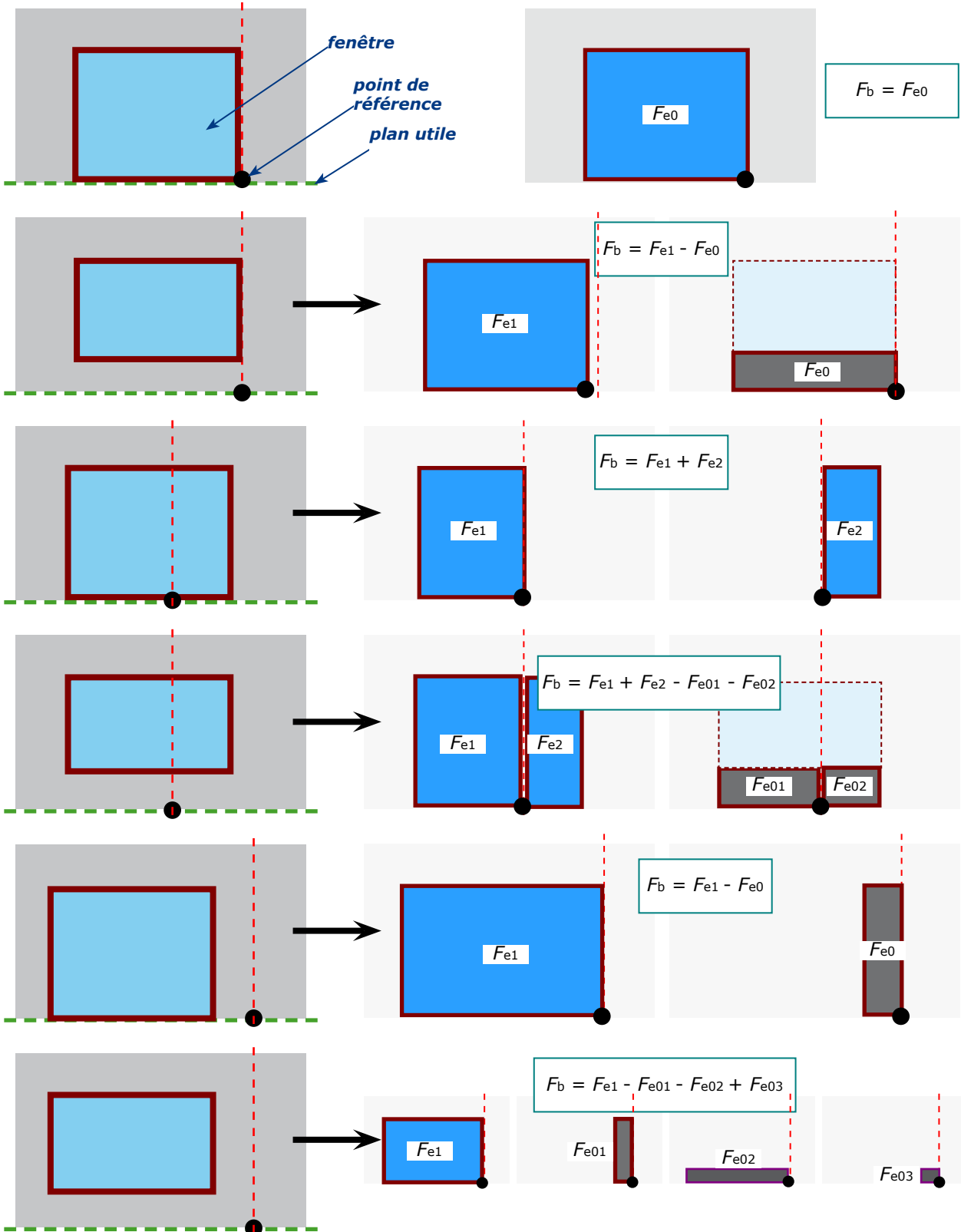
		VALEURS DE LA FONCTION $f(\alpha_0, \dots)$ ($\alpha_i = \alpha_1$ ou α_2 selon choix)										
$\alpha_i :$		10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
tg(α_i) :		0,18	0,27	0,36	0,47	0,58	0,70	0,84	1,00	1,19	1,43	1,73
α_0	tg(α_0)											
10°	0,18	0,001	0,002	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011	0,014	0,016	0,019	0,021
15°	0,27	0,001	0,003	0,005	0,007	0,010	0,014	0,017	0,021	0,024	0,028	0,031
20°	0,36	0,002	0,004	0,006	0,010	0,013	0,018	0,022	0,027	0,032	0,037	0,041
25°	0,47	0,002	0,004	0,008	0,012	0,017	0,022	0,028	0,034	0,040	0,046	0,051
30°	0,58	0,002	0,005	0,009	0,014	0,019	0,026	0,033	0,040	0,047	0,054	0,061
35°	0,70	0,003	0,006	0,010	0,016	0,022	0,029	0,037	0,045	0,054	0,062	0,070
40°	0,84	0,003	0,006	0,011	0,017	0,024	0,033	0,041	0,051	0,061	0,070	0,080
45°	1,00	0,003	0,007	0,012	0,019	0,027	0,036	0,045	0,056	0,067	0,077	0,088
50°	1,19	0,003	0,007	0,013	0,020	0,028	0,038	0,049	0,060	0,072	0,084	0,096
55°	1,43	0,003	0,008	0,014	0,021	0,030	0,040	0,052	0,064	0,077	0,090	0,103
60°	1,73	0,004	0,008	0,014	0,022	0,031	0,042	0,054	0,067	0,081	0,095	0,110
65°	2,14	0,004	0,008	0,015	0,023	0,032	0,043	0,056	0,069	0,084	0,099	0,115
70°	2,75	0,004	0,008	0,015	0,023	0,033	0,044	0,057	0,071	0,086	0,103	0,120
75°	3,73	0,004	0,008	0,015	0,023	0,033	0,045	0,058	0,072	0,088	0,105	0,122
80°	5,67	0,004	0,008	0,015	0,023	0,033	0,045	0,058	0,073	0,089	0,106	0,124

1.4. LE FACTEUR DE JOUR BRUT

LE CALCUL DU FACTEUR DE JOUR BRUT

Le facteur de jour brut F_b se calcule très aisément à partir des facteurs de jour élémentaires (F_{e1}, \dots), calcul à organiser selon les schémas ci-dessous, la formule à utiliser dépendant de la configuration.

Attention : il ne doit être tenu compte que des parties (fenêtres et murs) situées au-dessus du plan utile.



1.5. LE FACTEUR DE JOUR CORRIGÉ

LE CALCUL DU FACTEUR DE JOUR FINAL (CORRIGÉ)

La méthode adoptée repose sur la formule suivante :

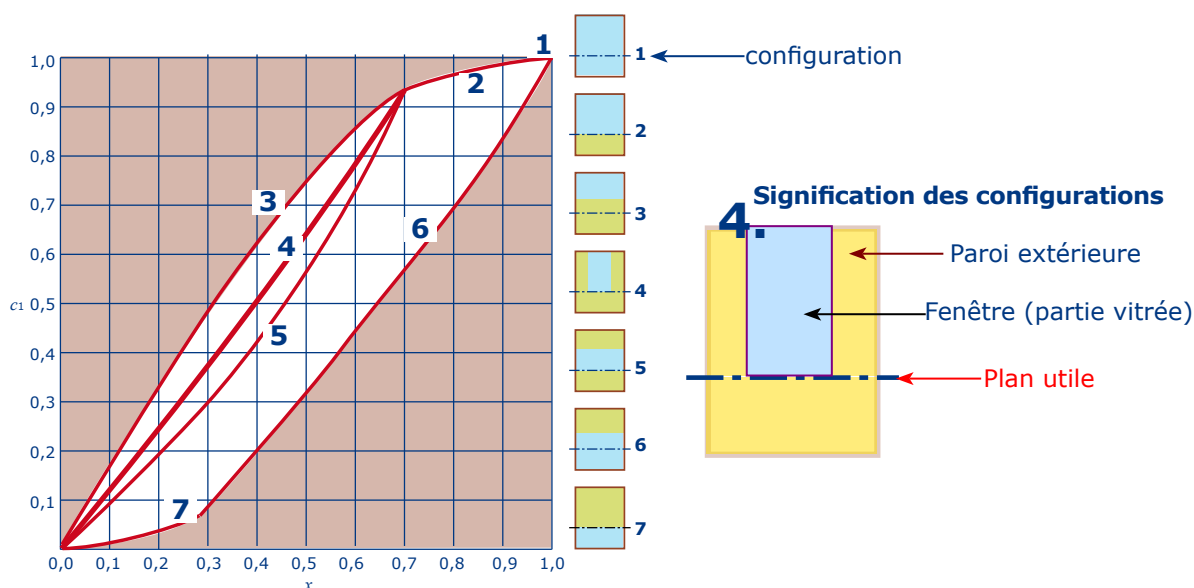
$$\text{FACTEUR DE JOUR} = c_1 c_2 F_b,$$

où :

- . F_b étant le facteur de base (voir fiches précédentes), qui ne tient compte que des caractéristiques géométriques de la fenêtre et de la position du point de référence servant à définir le facteur de jour,
- . c_1 et c_2 étant des correctifs tenant à la position de la fenêtre (c_1) et à la nature du vitrage (c_2).

LE CORRECTIF DE POSITION (c_1)

Pour déterminer ce correctif il faut tenir compte de la configuration du vitrage au sein de la paroi dans laquelle il est placé. Pour ce faire utilisez les diagrammes ci-dessous fournissant la valeur de c_1 en fonction du rapport (x) de la surface vitrée nette à la surface globale de la paroi dans laquelle le vitrage est inclus. Selon la position de la fenêtre par rapport à la paroi extérieure, nous nous trouvons dans l'une des configurations 1 à 7 illustrée ci-dessous. La valeur de c_1 (en fonction de x) à adopter est celle correspondante.



LE CORRECTIF DE VITRAGE (c_2)

Le coefficient c_2 , qui tient compte de ce que le rayonnement n'est pas normal à la surface vitrée, possède les valeurs (approchées) suivantes :

- . **simple vitrage** : $c_2 = 0,53$
- . **double vitrage** : $c_2 = 0,45$
- . **triple vitrage** : $c_2 = 0,38$
- . **verre dépoli (simple vitrage)** : $c_2 = 0,45$
- . **verre opale (simple vitrage)** : $c_2 = 0,25$
- . **pavé de verre 50 mm** : $c_2 = 0,25$
- . **pavé de verre 65 mm** : $c_2 = 0,20$

1.6. LES APPLICATIONS DU FACTEUR DE JOUR

La seule application ici retenue (les autres étant très conventionnelles et pratiquement inappliquées) consiste à utiliser le concept pour calculer les durées d'éclairage artificiel. En fait l'expérience prouve :

- . qu'en cas de *commande manuelle* de l'éclairage les occupants présentent des comportements très peu prévisibles et variés, rendant les calculs purement arbitraires,
- . qu'en cas de *commande automatique* de l'éclairage on peut, par contre, se baser sur la méthode fournie à la suite.

L'INFLUENCE SUR L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

Le niveau plus ou moins élevé d'éclairage naturel influe sur la durée d'utilisation de l'éclairage artificiel. Malheureusement les études in situ révèlent des comportements très variés des occupants. De sorte que les calculs qui suivent ne sont vraiment utiles que si la mise en service de l'éclairage artificiel est automatisée. Dans ce cas, pour effectuer les calculs, nous conseillons, en France métropolitaine, de se baser sur les éclairagements (horizontaux) extérieurs fournis, pour chaque heure (solaire), à la table ci-dessous.

ATTENTION. Cette table est exprimée en jours, alors que le calcul s'effectue apparemment en heures.

heure solaire	Nombre de jours par an où l'éclairage extérieur est inférieur à ...						
	2000 [lx]	3000 [lx]	4000 [lx]	5000 [lx]	6000 [lx]	8000 [lx]	10 000 [lx]
5 ou 19	275-290	285-295	300-300	310-300	315-300	320-300	325-305
6 ou 18	200-200	215-205	230-215	245-220	250-225	265-230	275-235
7 ou 17	125-100	140-110	160-125	175-140	190-145	200-155	210-160
8 ou 16	60-20	80-40	100-50	120-65	130-75	150-85	160-90
9 ou 15	25-5	40-10	55-15	70-20	85-25	105-35	120-45
10 ou 14	10-0	20-5	30-5	40-10	50-10	70-20	90-25
11 ou 13	5-0	10-5	20-5	25-5	30-10	50-15	70-20

La table ci-dessus indique la fréquence en jour, avec deux valeurs (exemple : «275-290»)
 . la première valeur correspondant au Nord de la France (275 = Valenciennes)
 . la deuxième valeur correspondant au Sud (290 = Toulon).

EXEMPLE. . Site : Paris, assimilé à France Nord (Valenciennes)

- . Facteur de jour minimal : 0,01 (1 %)
- . Eclairage intérieur de mise en service : 100 [lx]
- . Niveau d'éclairage extérieur déclenchant l'allumage : $100 / 0,01 = 10\ 000$ [lx]
- . Occupation-éclairage : locaux utilisés 7 jours sur 7, de 7 h solaire à 19h
- . Durée d'éclairage artificiel : $210+160+120+90+70+70+90+120+160+210+275+325 = 1900$ [h/an].

LES FACTEURS DE JOUR RECOMMANDÉS

Il n'existe pas de facteur de jour recommandé, même dans les normes nationales éventuelles, qui ne souffre du caractère extrêmement conventionnel des choix. La plupart du temps les deux bases sont les suivantes :

- . uclairement minimum sur le plan utile en un point de référence,
- . un éclairage extérieur pris comme base, 3000 ou 5000 [lx] en général.

Le tableau ci-dessous en fournit un exemple (valable pour la France et pour un éclairage extérieur de 5000 lux).

tâche visuelle	éclairage [lx] correspondant	facteur de jour recommandé
circulation	50	0,01
tâche moyenne	100	0,02
tâche fine	150	0,03
tâche très fine	300	0,06